

ATTI DELLA **SOCIETÀ ITALIANA**
PER IL **PROGRESSO** DELLE **SCIENZE**

Publicati per cura del
Segretario Prof. **LUCIO SILLA**

XXIII RIUNIONE - Napoli, 11-17 Ottobre 1934 - XII

VOLUME I

Rapporti a Classi riunite



ROMA
SOCIETÀ ITALIANA PER IL PROGRESSO DELLE SCIENZE
Via del Collegio Romano 26

1935 - XIII

La radioattività artificiale

ENRICO FERMI

L'Oratore rileva che si riteneva dalla maggior parte dei fisici, fino allo scorso anno, che nei processi di disintegrazione artificiale dei nuclei ottenuti per effetto del bombardamento con particelle alfa, oppure con altri corpuscoli veloci (protoni, deutoni, ecc.), il nucleo atomico che si forma come prodotto della disintegrazione corrispondesse sempre ad una forma stabile e non subisse quindi spontaneamente ulteriori modificazioni. Fu solo nel gennaio di quest'anno che i due fisici francesi F. Joliot e sua moglie Irene Curie, figlia della compianta scoprittrice del radio, annunziarono per la prima volta tre casi di disintegrazioni artificiali, ottenute per mezzo del bombardamento con particelle alfa secondo il classico procedimento descritto da Lord Rutherford nel 1919, in cui il prodotto della disintegrazione non era stabile ma si comportava come un corpo radioattivo disintegrandosi ulteriormente con un periodo di alcuni minuti. Altri tre o quattro esempi di radioattività artificiale furono ottenuti poco dopo, da vari fisici in Inghilterra e in America, mediante un bombardamento di protoni e di deutoni.

Riprendendo nell'Istituto Fisico dell'Università di Roma le esperienze dei fisici francesi, si pensò che potessero ottenersi risultati più estesi, servendosi per il bombardamento, dei neutroni, invece che di corpuscoli carichi di elettricità. E' ben vero infatti che le sorgenti di neutroni di cui si può disporre sono, come ordine di grandezza, 100000 volte meno intense delle sorgenti di particelle alfa. Per altro una compensazione si può sperare dal fatto che i neutroni, appunto per la assenza di carica elettrica, sono assai più efficaci del produrre disintegrazioni artificiali, e in particolare possono agire anche sui nuclei pesanti sui quali i corpuscoli carichi non esercitano invece alcuna azione.

L'esperienza ha confermato completamente queste previsioni, permettendo fin ad ora di trasformare in nuovi corpi radioattivi artificiali, per mezzo del bombardamento coi neutroni, una quarantina di elementi e cioè circa i due terzi degli elementi. Secondo

le previsioni poi l'azione dei neutroni non si esercita soltanto sopra elementi leggeri ma anche, e all'incirca con eguale frequenza, sopra gli elementi pesanti.

Per la realizzazione dell'esperienza occorrono: la sorgente dei neutroni, la sostanza da sottoporre al bombardamento, e un apparecchio per rilevare la eventuale radioattività artificiale prodotta nella sostanza. La sorgente è di costruzione estremamente semplice ed è basata sul fatto che il berillio, bombardato con particelle alfa emette spontaneamente neutroni. In un tubicino di vetro si introduce polvere di berillio ad emanazione di radio e poi lo si salda: le particelle alfa emesse dall'emanazione e dai suoi prodotti di disintegrazione, colpiscono i grani di berillio dando luogo a una emissione di neutroni; con le sorgenti di cui abbiamo potuto disporre il numero di neutroni si aggirava nei casi più favorevoli intorno a 1000000 per secondo. Non è una cifra grossa, se la si confronta col numero di particelle che escono dalla emanazione usata per la sorgente (circa 10^{10} particelle alfa per secondo): questa minore intensità è compensata come si è accennato dalla molto maggiore efficienza dei neutroni dovuta alla mancanza di carica elettrica.

L'apparecchio per rivelare una eventuale radioattività artificiale deve essere sensibile ai raggi beta che escono dalla sostanza radioattiva eventualmente formata. È appunto l'enorme sensibilità degli apparecchi che si possono costruire per rivelare i raggi beta che permette di accorgersi della produzione di quantità di sostanze che sfuggirebbero ad ogni altro attuale metodo di osservazione. L'apparecchio per rivelare gli elettroni è un contatore a filo, del tipo descritto da Geiger e Müller; esso consiste in un tubetto metallico alle cui estremità si hanno due tappi isolanti fra i quali è teso un filo metallico, in genere di alluminio, teso lungo l'asse del cilindro. Tra il tubo e il filo si stabilisce una differenza di potenziale regolata in modo che sia appena insufficiente a innescare la scarica elettrica; se in questo ambiente entra un elettrone esso produce una piccola ionizzazione che è sufficiente a innescare una scarica di brevissima durata la quale si smorza subito. Ma nel momento che dura, questa scarica produce un'alterazione di potenziale nel filo la quale, opportunamente amplificata, fa agire un numeratore che registra il numero di elettroni entrati nell'apparecchio.

Per esaminare una sostanza, per esempio il ferro, se ne prende un cilindretto abbastanza grande per poterlo infilare sopra

il contatore; dapprima si mette la sorgente nel cilindretto e vi si lascia per un certo tempo durante il quale il ferro resta assoggettato al bombardamento dei neutroni che escono da essa; alcuni dei nuclei colpiti si modificano diventando radioattivi. Anche dopo allontanata la sorgente dei neutroni, questi nuclei modificati radioattivi, ogni tanto si disintegrano emettendo un elettrone. Se il cilindretto di ferro si infila, allora sopra un contatore gli elettroni fanno scattare il numeratore; il loro numero viene registrato di tempo in tempo. Si trova così che la frequenza delle disintegrazioni decresce esponenzialmente riducendosi a metà in un tempo caratteristico dell'elemento bombardato che, per esempio nel caso del ferro, risulta di due ore e mezza.

Con questo metodo abbiamo cercato di esaminare il massimo numero possibile di elementi, fino ad ora oltre sessanta, e si è trovato che un grandissimo numero di essi, circa due terzi, e cioè, oltre quaranta, dà un effetto positivo. Questa larga percentuale di elementi attivabili dipende certamente dal fatto che i neutroni non vengono respinti dalla carica elettrica del nucleo e quindi possono agire anche sugli elementi pesanti. A conferma di ciò abbiamo trovato che la percentuale di elementi che danno effetto positivo è presso a poco la stessa per i leggeri che per i pesanti.

Ora veniamo a discutere il meccanismo del fenomeno e le esperienze fatte per analizzarlo. Prima di tutto occorre controllare che la radioattività prodotta, come tutti i fenomeni nucleari, è indipendente dal tipo di legame chimico in cui si trova l'elemento in esame.

Così, per esempio, il ferro si può sottoporre a bombardamento come elemento oppure usando i suoi composti e si trova sempre lo stesso fenomeno con la stessa intensità (tenuto conto naturalmente del diverso contenuto in ferro) e con lo stesso periodo; il tempo di disintegrazione è una costante perfettamente caratteristica dell'elemento bombardato che da elemento ad elemento prende valori diversi. Così l'attività prodotta nel fluoro si riduce a metà in 9 secondi, per altri elementi il tempo è di alcuni minuti, per altri di alcune ore, per altri infine di alcuni giorni; il periodo più lungo, finora riscontrato, si ha per il cloro e per lo zolfo ed è di circa 13 giorni.

Lo schema più probabile secondo cui avviene la disintegrazione viene suggerito dai casi di disintegrazione nucleare già noti nei quali noi sappiamo che, almeno molto spesso, la particella bombardante viene catturata dal nucleo il quale emette poi una nuova

particella. I tre schemi principali secondo cui avviene il fenomeno potrebbero quindi essere i seguenti:

- assorbimento del neutrone ed emissione di una particella
- assorbimento del neutrone ed emissione di un protone
- assorbimento del neutrone e basta.

Naturalmente non si può escludere la possibilità di altri meccanismi; così, per esempio, potrebbero darsi casi in cui il neutrone non venisse assorbito oppure che venissero emesse particelle differenti da quelle elencate.

Anche senza fare ipotesi troppo speciali sopra il meccanismo del fenomeno, si può ammettere ragionevolmente che l'elemento radioattivo abbia un numero atomico prossimo a quello dell'elemento bombardato. Così, per esempio, per il caso del ferro potremo limitare la ricerca agli elementi prossimi a questo nel sistema periodico e cioè: cromo, nichel, cobalto.

Per decidere tra queste possibilità non si può procedere direttamente a un'analisi chimica dell'elemento formato, perchè la sua quantità è talmente piccola che non si può precipitare con nessuno dei metodi ordinari dell'analisi chimica ed è necessario aggiungere della sostanza radioattivamente inerte isotopa dell'eventuale elemento radioattivo formato, la quale serve a trascinarlo. La ricerca si svolge perciò nel modo seguente: Una certa quantità di ferro viene dapprima sottoposta al bombardamento con i neutroni e quindi disciolta in acido nitrico. Alla soluzione di nitrato si aggiungono piccole quantità (alcuni milligrammi) dei sali di tutti gli elementi sospetti (Cr, Mn, Co, Ni); con i metodi ordinari dell'analisi chimica si separano poi di nuovo questi elementi tra di loro e dal ferro e le cinque frazioni si portano successivamente vicino al contatore per cercare quale di esse porta l'attività. Si trova in questo caso, per esempio, che l'attività segue il manganese ciò che indica che il ferro si è trasformato in un isotopo radioattivo del manganese. Ciò sembrerebbe indicare dunque che in questo caso il prodotto radioattivo ha un numero atomico di una unità inferiore a quella dell'elemento originario e che quindi è stato emesso un protone; in altri casi si è trovato invece che il numero atomico decresce di due unità, ciò che indicherebbe emissione di una particella alfa; in altri infine, che l'elemento radioattivo è isotopo dell'elemento bombardato ciò che si potrebbe interpretare per esempio, ammettendo che il neutrone venga semplicemente assorbito senza susseguenti emissioni di particelle cariche.

La difficoltà di eseguire un'analisi chimica del tipo descritto è dovuta in molti casi al breve tempo che si ha disposizione per farla, che è talvolta, di 2 a 3 minuti.

Analisi chimiche del prodotto attivo si sono potute eseguire perciò soltanto in una quindicina di casi e si trova, talvolta, che lo stesso elemento radioattivo può formarsi in modi diversi: per esempio il manganese che si forma bombardando il ferro e ha un periodo di due ore e mezza, si trova anche bombardando lo stesso manganese oppure il cobalto; parimenti un prodotto attivo isotopo del vanadio e avente periodo di circa 4 minuti, si forma bombardando vanadio, cromo, oppure manganese.

Parlerò da ultimo della attivazione dell'uranio, cioè del più pesante degli elementi conosciuti. La ricerca è in questo caso complicata dal fatto che l'uranio è spontaneamente radioattivo e la sua radioattività naturale maschererebbe ogni ulteriore effetto dovuto ai neutroni. Per fare l'esperienza si può tuttavia approfittare del fatto che l'uranio emette solo particelle alfa le quali non sono registrate dai contatori perchè hanno potere penetrante insufficiente a entrare nel loro interno. Siccome però, l'uranio è sempre mescolato con i suoi prodotti di disintegrazione, alcuni dei quali emettono particelle beta, sono necessarie delle operazioni chimiche preliminari per liberarlo da questi. Dopo la depurazione, almeno per un certo tempo, non si ha emissione di particelle beta spontanee.

Dopo di questo trattamento preliminare l'uranio sottoposto al bombardamento dei neutroni dimostra un'attività relativamente intensa con periodi ben distinti da quelli dei corpi radioattivi naturali.

Anche per l'uranio ha interesse ricercare chimicamente la natura degli elementi attivi formati; ci siamo principalmente riferiti all'elemento avente 13 minuti di periodo, che è il più conveniente per la ricerca e abbiamo cercato di stabilire se questo fosse un isotopo dell'Uranio o di qualcuno degli elementi precedenti.

Occorre qui procedere in un modo un po' differente da quello descritto per il caso degli elementi comuni, poichè alcuni degli elementi di peso atomico vicino a quello dell'Uranio sono estremamente rari e le quantità che se ne possono avere a disposizione non sono pesabili, ma rivelabili soltanto con procedimenti radioattivi. Per ricercare se l'elemento di vita di 13 minuti sia isotopo di uno di queste sostanze i due corpi si mescolano e si ricerca poi se esi-

stono reazioni chimiche capaci di separarli almeno in parte. La esistenza di una di tali reazioni è da considerare una indicazione che i due elementi non sono isotopi. Le esperienze fatte in questa ricerca sembrano indicare che l'elemento prodotto non sia isotopo dell'uranio e nemmeno degli elementi antecedenti a esso almeno per una diecina di posti nel sistema periodico; si è pensato pertanto che esso potesse avere numero atomico maggiore di 92, nel qual caso si avrebbe qui la produzione di un elemento non esistente in natura il quale si produrrebbe per effetto del bombardamento con neutroni, e, dopo una vita effimera di pochi minuti, verrebbe nuovamente a distruggersi. Naturalmente, prima che questi risultati possano considerarsi definitivi, occorrerà eseguire una serie di prove di controllo ed esaminare in modo completo il quadro delle proprietà chimiche del nuovo elemento. Il fatto che essa abbia una vita media assai breve, giustificherebbe per altro pienamente il fatto che non lo si incontri in natura. Se esso anche fosse un tempo esistito, esso dovrebbe da tempo essersi spontaneamente distrutto, e, attraverso a successive disintegrazioni, essersi trasformato in qualcuno degli elementi comuni.
